

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

# Montáž zařízení pro vrtání hlubokých otvorů

Assembly of Device for Drilling of Deep Holes

Student:

Patrik Kotek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání bakalářské práce

Student: **Patrik Kotek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Montáž zařízení pro vrtání hlubokých otvorů**  
**Assembly of Device for Drilling of Deep Holes**

Zásady pro vypracování:

1. Přehled problematiky vrtání hlubokých otvorů.
2. Popis a sestava zařízení na vrtání.
3. Zkoušení sestavy na vrtání.
4. Závěrečné zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

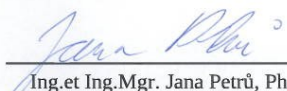
- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.  
[2] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marian. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.  
[3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábání, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.  
[4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábání, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.  
[5] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013  
Datum odevzdání: 19.05.2014



  
Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2014

podpis studenta *P. Kolář*

Prohlašuji, že

☐ jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

☐ беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

☐ souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

☐ bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

☐ bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

☐ беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20 .5 .2014.....

Podpis studenta



Jméno a příjmení autora práce:

Patrik Kotek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Lubno 116, 73911 Frýdlant n.O.

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KOTEK, P. *Montáž zařízení pro vrtání hlubokých otvorů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 44 s. Vedoucí práce: Petruš, J.

Bakalářská práce se zabývá montáží zařízení pro vrtáním hlubokých otvorů. V úvodu je nastíněn vývoj a podstata technologie vrtání. Dále následuje přehled nejpoužívanějších nástrojů a metod pro vrtání hlubokých otvorů. Nedílnou součástí při vrtání hlubokých otvorů je přívod a druh procesního média. Vhodně zvolené procesní médium při správném přívodu a za správného tlaku umožňuje zvýšení řezné rychlosti, potažmo snížení strojního času, zpravidla delší životnost nástroje. Cílem práce je popsat postup montáže zařízení pro vrtání hlubokých děr sestaveného na pracovišti Katedry obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB-TUO a experimentálně ověřit funkčnost zařízení při vrtání hlubokých děr.

## ANNOTATION OF THESIS

KOTEK, P. *Assembly of Device for Drilling of Deep Holes*. Ostrava: Department of Machining and assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Ostrava 2013, 42 p. Thesis head: Petruš, J.

This bachelor's thesis deal with mounting equipment used for the deep holes drilling. Introduction part gives a basic view about history and substantiality on drilling process. This is followed by overview of the most widely used tools and methods for the deep holes drilling. An integral part of the deep holes drilling is supply and type of process medium. Suitable process medium with proper supply and correct pressure allow us higher cutting speed, machine time decrease and longer tool service life. Aim of the thesis is to describe mounting proces for drilling machine assembled on workplace VSB-TU, faculty of mechanical engineering and experimentally verified functionality of the tools intended for deep holes drilling.

# Obsah

1.	Přehled problematiky vrtání hlubokých otvorů.....	9
1.1	Vrtání .....	9
1.2	Základní metody vrtání hlubokých otvorů.....	10
1.3	Dělové vrtáky.....	11
1.4	Systém STS.....	13
1.5	Ejektorové systémy.....	14
1.6	Vrtání s předvrtaným otvorem.....	15
1.7.	Jádrové vrtání.....	16
1.8.	Chlazení.....	16
1.9.	Čisticí účinek.....	17
1.2.1.	Mazací účinek.....	17
2.	Popis a sestava zařízení pro vrtání hlubokých děr.....	18
2.1.	Popis samotného stroje.....	19
2.2.	Mlhové chlazení olejem HL95.....	21
2.3.	Sestava pro odsávání přebytečné olejové mlhy.....	21
2.4.	Středový adaptér.....	23
2.5.	Filtrační systém.....	26
2.7.	Kompletní sestava MQL těsně před spuštěním do zkušebního provozu.....	27
3.0.	Montáž a zkoušení sestavy MQL.....	28
3.1.	Vybrané technické parametry stroje .....	28
3.2.	Zkoušený materiál.....	29
3.3.	Nástroje k vrtání hlubokých otvorů.....	33
3.4.	Princip měření drsnosti povrchů přístrojem SJ-401.....	34
4.0.	Závěrečné zhodnocení.....	38

## Seznam použitých zkratk a symbolů

A	kontrakce oceli zjištěna tahovou zkouškou [%]
BTA	Boring and Trepanning Association - vrtání a vyvrtávání na jádro
D	průměr vrtáku [mm]
d	průměr tělesa [mm]
d <sub>j</sub>	průměr jádra [mm]
f	šířka fazetky [mm]
HRC	stupeň tvrdosti dle Rockwella [-]
ISO	International Organization for Standardization Mezinárodní organizace pro normalizaci
IT	stupeň přesnosti [-]
K <sub>v</sub>	vrubová houževnatost s vrubem tvaru V [J]
L	délka vrtáku [mm]
l	délka těla vrtáku [mm]
l <sub>1</sub>	délka stopky [mm]
l <sub>d</sub>	délka drážky [mm]
NC	Numerical Control - číslicové řízení
R <sub>a</sub>	průměrná aritmetická úchylka profilu [μm]
Re	mez kluzu tahovou zkouškou [MPa]
R <sub>m</sub>	mez pevnosti tahovou zkouškou [MPa]
RO	rychlořezná ocel
SK	slinutý karbid
Z	tažnost oceli zjištěná tahovou zkouškou [%]
MQL	zařízení pro vrtání hlubokých otvorů
V <sub>c</sub>	řezná rychlost [m · min <sup>-1</sup> ]
V <sub>f</sub>	posunová rychlost [mm · min <sup>-1</sup> ]
n	otáčky nástroje [min <sup>-1</sup> ]
R <sub>z</sub>	naměřená drsnost povrchu [μm]
s(x)	směrodatná odchylka [μm]

## Úvod

V bakalářské práci budou popsány jednotlivé způsoby vrtání a problematiku vrtání. Uvedeny budou metody vrtání včetně používaných nástrojů. Metody, o které se například jedná, jsou vrtání dělovými vrtáky. Další část je věnována různým částem samotné sestavy MQL, jejich parametrů a výhod.

Cílem mé bakalářské práce je sestavení a uvedení do činnosti sestavu MQL pro vrtání hlubokých otvorů. Úkolem bakalářské práce je pečlivě provést montáž dané sestavy navrženou metodou, která by měla zjednodušit výrobu v oblasti vrtání hlubokých otvorů. Dále budou popsány veškeré součásti dané sestavy a jejich parametry.

Experimentální činnost probíhala v laboratořích katedry obrábění a montáže na VŠB - TUO, kde byla možnost zúčastnit se experimentů i s porovnáním jejich obtížnosti. Základní technologie pro výrobu zadané součásti je vrtání otvoru do plného materiálu a jeho postupné vyvrtávání. U této technologie lze používat pět různých nástrojů a bude porovnávána jak se sestava MQL chová v praxi.

Tuto technologii lze nejčastěji využívat v automobilovém, leteckém, zbrojní energetický průmysl, ale také mnoho dalších. Stále dochází ke zdokonalování problematiky hlubokého vrtání. Zdokonalovány jsou nejčastěji řezné nástroje. Na nástrojích se zdokonaluje materiál nástroje a použitý povlak, řezná geometrie a také se klade důraz na životnost.



# **1. Přehled problematiky vrtání hlubokých otvorů**

## **1.1 Vrtání**

První vrtané hluboké otvory nalezneme ve zbrojařském průmyslu, vrtání hlavní palných zbraní a děl. Technologie dosahovala nejvyššího rozvoje při válečných konfliktech.

V průběhu času se technologie hlubokého vrtání rozšířila do všech oblastí průmyslu, kde má své nedílné zastoupení. Nejčastěji se jedná o automobilový, letecký, zbrojní, energetický průmysl a mnoho dalších. V současnosti stále dochází ke zdokonalování problematiky hlubokého vrtání. Zdokonalovány jsou nejčastěji řezné nástroje. Na nástrojích se zdokonaluje materiál nástroje a použitý povlak, řezná geometrie a také se klade důraz na životnost a trvanlivost nástroje.

Nedílné zastoupení při třískovém obrábění má procesní médium. Procesní médium plní hned několik důležitých funkcí při třískovém obrábění. Mezi hlavní můžeme považovat chlazení, mazání a čistící účinek. Každá metoda třískového obrábění vyžaduje určitou převažující funkci.

Otvory můžeme vytvářet různých tvarů a hloubek, nejjednodušší a nejpoužívanější je výroba otvorů rotačních. Vytvářet je můžeme do plného materiálu nebo do předvrtaných, předlisovaných nebo předlitých otvorů. Otvory mohou být průchozí nebo neprůchozí. Obrábění průchozích otvorů je velmi snadno proveditelné. U neprůchozích může být problém jejich následné zakončení a dosažení požadované hloubky otvoru.

Dokončení vrtání u neprůchozích otvorů se provádí zastavením posuvu a vrták vykoná několik otáček za účelem odříznutí závěrečné třísky. Otvory, které vznikají vrtáním, můžeme rozdělit jako průchozí a neprůchozí. U neprůchozích otvorů musíme dbát na správné zakončení otvoru, odřezání třísky ze dna otvoru a na dodržení správné hloubky otvoru. Správné odřezání třísky ze dna otvoru docílíme tím, že necháme nástroj několikrát protočit v otvoru bez posuvu.

Posuv ve směru osy nástroje a hlavní řezný pohyb, který je rotační a vykonává ho nástroj, pouze ve výjimečných situacích vykonává rotační pohyb obrobek. Během operace vrtání je řezná rychlost na obvodu nástroje největší a směrem ke středu klesá. Z pohledu hospodárnosti a přesnosti vrtání je velmi důležitá teplota, osová síla a krouticí moment. Tyto hodnoty jsou ovlivněny soustavou stroje, nástroje, obrobku a řezným prostředím.

## 1.2 Základní metody vrtání hlubokých děr

Vrtání jako základní metoda ke zhotovení válcových děr v obrobku se vyznačuje rotačním pohybem nástroje, kombinovaným s přímočarým pohybem podél jeho osy. V zásadě je možná kombinace rotujícího nástroje a stojícího obrobku či stojícího nástroje a rotujícího obrobku. Přesto, že se jedná o tradiční a osvědčenou metodu, je nutno se vyrovnat s několika aspekty, které jsou této technologii vlastní.

Prvním aspektem je řezná rychlost, měnící se od nuly v ose vrtání do jmenovité hodnoty na vnějším průměru vrtáku; proto je nutno počítat s vytvářením nárůstku a změnou jeho polohy – se snížením řezné rychlosti se přesunuje k vnějšímu průměru nástroje. Rovněž úhel čela se podél břitu mění a zmenšuje se od vnějšího obvodu k ose vrtáku. Výsledkem obou těchto faktorů jsou velmi nevýhodné řezné podmínky v okolí osy nástroje, kde materiál není odřezáván, ale spíše vytlačován, podléhá plastické deformaci a důsledkem je výrazné zvýšení axiální složky řezné síly. Řešením je zmenšení příčného ostří vhodnou geometrií ostření nebo jsou u středu nástroje užity břitové destičky z jiného řezného materiálu a s jinou geometrií než na obvodu.

Další skutečností, které je třeba věnovat pozornost, je nutnost spolehlivého odvodu třísek z hloubky vrtaného otvoru, čemuž přispívá kontrolovaná tvorba třísky, účelně volená řezná geometrie, povlakované nebo leštěné drážky vrtáku a především použití řezné kapaliny, pokud možno přivedené přímo k břitu nástroje. Obecně platí, že čím menší průměr vrtaného otvoru, tím vyšší tlak kapaliny je nutno použít a čím větší průměr, tím vyšší musí být dodávané množství. Konkrétní hodnoty je nejlépe vzít z doporučení výrobce nástroje.

V neposlední řadě je třeba vzít v úvahu, že vrták je štíhlý nástroj, namáhaný na vzpěr značnou axiální silou. Poměr hloubky otvoru k jeho průměru určuje štíhlost nástroje, potřebného k jeho zhotovení. Příliš velká způsobuje nestabilitu nástroje a bez vhodných opatření, jako jsou např. vhodná vrtací pouzdra, vedoucí nástroj v počátcích operace nebo dodatečné vodící fazetky, lze jen těžko pracovat s podmínkami, které daný řezný materiál dovoluje či dosahovat potřebné geometrické přesnosti obrobeného otvoru. Pro nejvyšší produktivitu a kvalitu vrtaného otvoru se proto doporučuje užít nástroj s minimální možnou štíhlostí a s vysokou tuhostí a stabilitou. Otvory se štíhlostí nad 6 - 7 většinou nelze spolehlivě zhotovit standardním postupem a nástrojem; obecně je takto charakterizován již hluboký otvor, kde je nutno užít předvrtání nebo pečlivě vybrat vhodný vrták.

Nevhodné nastavení nástroje a jeho házivost mají vliv na krátkou trvanlivost břitů špatnou jakost obrobeného otvoru. Monolitní vrtáky vyžadují maximální radiální házivost cca 0,02 mm, nástroje s vyměnitelnými destičkami bývají kratší, stabilnější a proto vystačí s hodnotami okolo 0,03 mm. K dokonalému vystředění rotujícího nástroje musíme užít vodící pouzdro, vyvrtat vodící díru nebo užít samostředící vrták. U případů, kdy se užívá stojící vrták a rotující obrobek, vede úhlová odchylka osy vrtáku a osy rotace obrobku k vytvoření nálevkovitého tvaru otvoru; pokud je osa vrtáku vůči ose rotace obrobku přesazena, je výsledná díra větší nebo menší o dvojnásobek hodnoty přesazení. Opracování otvorů menších než je jmenovitý průměr vrtáku se nedoporučuje, protože hrozí drhnutí těla vrtáku o stěnu otvoru. Radiálního přesazení lze využít k cílené modifikaci obrobeného průměru (v hodnotách několika desetin mm) nebo k dosažení užší tolerance zhotoveného otvoru – daní za tuto možnost je však vyšší opotřebení břitových destiček.

### **1.3 Dělové vrtáky**

Tyto nástroje jsou konstruovány na vrtání hlubokých otvorů obr. 1.0. a 1.1. Lze s nimi dosahovat nejvyššího poměru průměru a hloubky. Byly vyvinuty pro zbrojní průmysl, kde s nimi byly vrtány otvory v hlavních palných zbraních. Dnes jsou rozšířeny do všech oblastí průmyslu.

Nástroje jsou konstruovány tak, aby vedení v otvoru bylo co nejlepší. Lze s nimi vrtat hluboké otvory, aniž by došlo k vyosení nástroje. U těchto nástrojů je důležitý správný odvod třísek z místa řezu. Procesní médium přispívá jak k správnému odvodu třísek, chlazení a mazání nástroje v místě řezu. Médium je přiváděno nejčastěji tělem nástroje a to za určitého tlaku.

Při vrtání koná nejčastěji dělový vrták pouze posuv, otáčivý pohyb vykonává obrobek. Při zavrtávání nástroje do obrobku potřebuje dělový vrták vedení, které se vytváří vyvrtáním pilotního otvoru nebo pomocí vodícího pouzdra. K vedení nástroje v otvoru slouží dvě vodící lišty, které jsou umístěny ve stejné úrovni jako řezná hrana. Lišty jsou upevněny ve vybrání na těle nástroje pomocí šroubů. Dno vybrání je skloněné. Vedení nástroje v otvoru obstarává jen přední část lišty. Po opotřebení se lišty otáčí o 180° a tím se využije jejich celá délka.

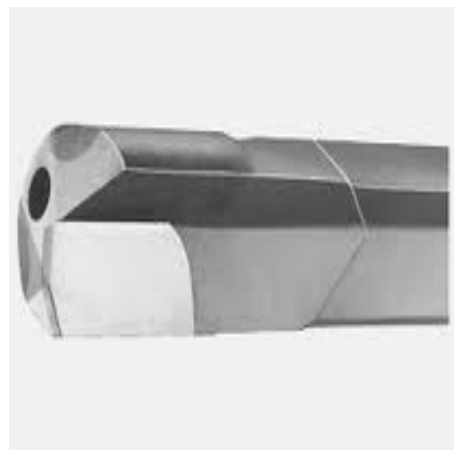
Nástroje jsou vyráběny ze dvou částí. První část nástroje tvoří hlavice, která je vyrobena z rychlořezné oceli a následně povlakována. Další možností je výroba ze slinutého karbidu pro zlepšení řezných podmínek a životnosti. Hlavice jsou připájeny na tyč, která je

menšího průměru než hlavice. Tato tyč musí mít dostatečnou tuhost a štíhlost, aby nedocházelo ke chvění nástroje. Nejčastěji je vyrobena z rychlořezné oceli. Těmito nástroji se dosahují vysoké přesnosti obrábění a to v tolerancích od IT7 do IT9. Drsnost obrobeného povrchu se dosahuje  $Ra\ 0,4\ \mu m - Ra\ 1,6\ \mu m$ . Na dosahovanou drsnost povrchu má velký vliv použité procesní médium a také filtrace použitého média. Díky takto vysoké dosahované drsnosti povrchu odpadá dokončovací operace a tím dochází k úsporám strojního času a času obsluhy.

Mezi podstatné přednosti patří jednoduchost a univerzálnost technologie. Dělové vrtání lze použít na všech strojích, které mají dostatečný rozsah posuvu. Při vrtání nedochází k přerušení řezu, nástroj vrtá otvor najednou. To nám umožňuje úsporu strojního času. Cenová dostupnost dělových vrtáků je nižší než nástroje HSS stejné délky. Také strojní čas při použití dělových vrtáků oproti HSS vrtákům je o 80 % – 90 % menší. Do dalších předností těchto nástrojů patří jistota procesu. Dělový vrták [6] dokáže při hloubce 2000 mm dosáhnout tolerance otvoru H8. Nevýhodou u této technologie je špatná produktivita práce, toto platí pouze při malých hloubkách, do hloubky  $20 \times D$ . Nad tuto hloubku nemají tyto nástroje konkurenci.



Obr.č. 1.0. Dělové vrtáky s vyměnitelnou ocelovou hlavicí [6]



Obr. č. 1.1. Dělový vrták s břitovou destičkou [7]

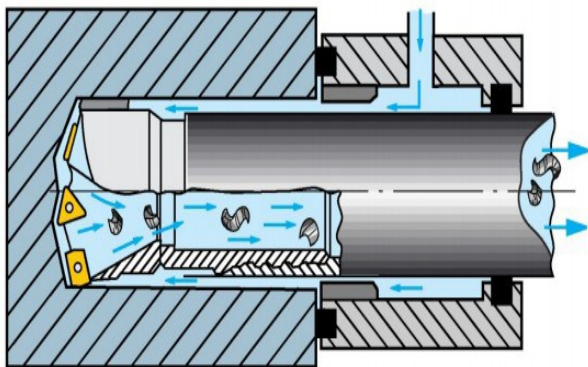
## 1.4 Systém STS

Tento systém je také nazýván BTA systém. Princip STS systému je zobrazen na obrázku č.1.2.

Nástroj je složen z vrtací hlavy a vrtací tyče. Vrtací hlava obr. č. 1.3. je osazena výměnnými břitovými destičkami [7] a vodítky. Tato hlava je našroubována na vrtací tyči. Procesní médium je přiváděno za vysokého tlaku mezi stěnou otvoru a stěnou vrtací tyče na břit nástroje. Zde strhává vytvořené třísky a odvádí je středem vrtací tyče.

Díky vysokému tlaku je systém STS účinnější než Ejektorový systém. Přívod procesního média mezi stěnou otvoru a stěnou vrtací tyče musí být utěsněn, aby nedocházelo k odvodu média a ke snížení tlaku. Systém STS [8] se nejčastěji využívá u velkých sérií a u materiálů s těžko tvářitelnou třískou. Další výhodou oproti ejektorovému systému je větší rozsah vrtaného průměru.

Vrtat s těmito systémy můžeme do plného materiálu, předem předvrtaného materiálu nebo tzv. na jádro. Tímto systémem je možno vrtat otvory až do průměru 300 mm.



Obr. č.1.2. Princip STS systému [8]



Obr. č. 1.3. Vrtací hlava STS systému [9]

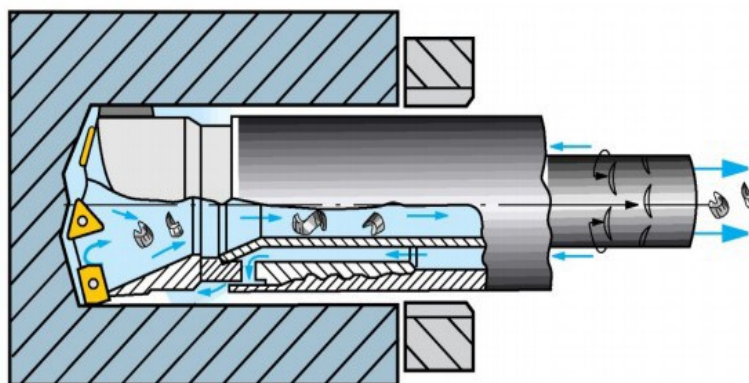
## 1.5 Ejektorový systém

Ejektorové vrtáky viz obr. č. 1.4. jsou používány pro vrtání otvorů, jejichž délka přesahuje  $5 \times D$ . Jsou složeny z vrtací hlavice [10] a vrtací trubky. Vrtací hlavice [9] je osazena vodítky a břitovými destičkami, které odebírají třísku. Hlavice je našroubována na vnější vrtací trubce.

Vrtací trubka je složena z vnější a vnitřní části. Vytváří tak mezikružší. Procesní médium je přiváděno právě tímto mezikružším pod tlakem. Vzniklé třísky se odvádí vnitřní vrtací trubkou. S třískami odchází i již přivedené procesní médium. Toto médium je filtrováno a přiváděno obr. č. 1.6. zpět do místa řezu. Ejektorový efekt vzniká nasáváním malého množství procesního média [11] od břitu nástroje. Médium strhává i vznikající třísky a odvádí je. U tohoto systému je médium přiváděno menším tlakem než u systému STS. Princip ejektorového systému je vyobrazen na obrázku č. 1.5. Systém lze uplatnit na jakémkoli konvenčním nebo číslicově řízeném stroji bez velkých zákroků.



Obr. č.1.4. Ejektorová hlavice [10]



Obr. č. 1.5. Princip Ejektorového systému [11]



Obr. č. 1.6. Pohyb procesního média [11]

## 1.6 Vrtání s předvrtaným otvorem

Pilotní otvor nebo vodící pouzdro zabezpečuje, že osa nástroje najede na osu otvoru. Rozměr pilotního otvoru se volí stejný jako otvor, který bude vrtán. Vrcholový úhel se volí stejný, nebo větší. Vrtání pilotního otvoru se provádí minimálně do hloubky  $1,5 \times D$ . Po vyvrtání pilotního otvoru se najíždí požadovaným vrtákem o požadované délce a průměru. Pro najíždění se volí snížená řezná rychlost a posuv.

Otáčky se volí zpravidla levotočivé. To z důvodu, aby nástroj najel do zhotoveného pilotního otvoru bez možnosti zabrání ostří. Těmito levotočivými otáčkami a sníženým posuvem se najíždí nástrojem 1 mm až 2 mm před dno pilotního otvoru.

Zde se změní otáčky na pravotočivé. Volí se také časovou prodlevu na vyrovnaní řezné rychlosti a otáček. V tomto okamžiku se zapíná procesní médium. Dále se začíná vrtat do požadované hloubky.

Při výjezdu nástroje z materiálu se snižuje řezná rychlost a posuv. Nástroj musí vyjždět minimálně 3 mm od plného průměru vrtáku. Jako poslední krok následuje vyjetí nástroje z obrobku. Čím větší je hloubka vrtané díry, tím je technologie, odvodu složitější a náročnější.

## **1.7 Jádrové vrtání**

Pro jádrové vrtání se používají trepanační vrtáky. Používá se bez předvrtání. Při této metodě se odvrtaný materiál neodstraňuje ve formě třísek, ale je vedený jako jádro uprostřed nástroje. Využití metody jádrového vrtání je hlavně při použití stroje, který má omezený výkon. Není zde nutno použít tak velký výkon jako při vrtání do plného materiálu. Jádro, které po vrtání zůstane, lze dále používat, například u drahých materiálu ho lze použít buď jako materiál pro výrobu dalších obrobků, nebo se používá jako zkušební vzorek pro zkoušky pevnosti v tahu a materiálovou analýzu.

Pokud jsou díry vyráběné touto metodou, je nutné použít také speciální nástroj, který jádro na konci podsekne.

1. Přehled problematiky vrtání hlubokých otvorů.
2. Popis a sestava zařízení na vrtání.
3. Zkoušení sestavy na vrtání.
4. Závěrečné zhodnocení.

## **1.8 Chlazení**

Chladicí účinek znamená odvod vzniklého tepla procesním médiem z místa řezu. Tuto schopnost má každé procesní médium, které smáčí povrch kovu. Tento jev nastává vždy při procesu obrábění.

Čím vyšší teplota vzniká v místě řezu, tím se zvyšují nároky na správný odvod tepla. Teplo, které se správně neodvede, se může hromadit v obrobku nebo nástroji. Hromadění tepla v obrobku má negativní vliv na požadovanou přesnost. Nahromaděná teplota v nástroji



(dochází převážně u nástrojů z rychlořezné oceli) má za následek překročení teploty popouštění.

Chladicí účinek závisí na vypařování, smáčecí schopnosti, výparném teple, rychlosti vypařování, tepelné vodivosti a na měrném teple procesního média. Čím vyšších hodnot budou tyto veličiny nabývat, tím větší bude chladicí účinek procesního média. Mezi další podstatnou veličinu patří i průtokové množství. Čím větší bude průtokového množství, tím větší bude mít procesní médium chladicí účinek, který se dá ještě zvýšit výparným teplem. Příliš velké odpařování není žádoucí a to kvůli vzniklým parám. Vzniklé páry se musí odsávat a nejsou žádoucí jak z hlediska ekonomického i zdravotního, tato metoda bude popsána níže.

## **1.9. Čistící účinek**

Jednou z nejdůležitějších vlastností procesního média je správný odvod třísek, které vznikají při procesu obrábění. Třísky mají tendenci se v odvodové drážce shromažďovat. To má nevhodný dopad na nástroj a vzniklou drsnost povrchu součástí. Vhodně zvolené procesní médium při vhodném použití nám zamezí spojování a shromažďování v odvodové části nástroje, ale i spojování třísky s nástrojem a vhodný odvod z místa řezu.

Kvalita procesního média závisí také na jeho čistotě. Při procesu se procesní médium recykluje přes filtry a vrací se zpět do zásobníku. Přiváděné znečištěné médium může mít za následek zhoršení drsnosti povrchu. Prvotřídní čistící účinek mají média s malou viskozitou bez aktivních přísad. Dokáží vzniklé třísky a nečistoty obalit médiem a zabraňují spojování nečistot. Čistící účinek je důležitý u všech technologií obrábění.

### **1.2.1. Mazací účinek**

Mazací účinek je schopnost procesního média vytvářet ucelenou vrstvu na povrchu kovu. Vrstva brání přímému styku materiálu obrobku a materiálu nástroje. Tím se snižuje tření mezi kovovými materiály a řezná síla. Díky zmenšení řezné síly dochází ke zmenšení výkonu, který je potřebný k obrábění kovu.

Dále je důležité z technologického hlediska zlepšovat dosažená drsnost povrchu. Ta se vyžaduje převážně u dokončovacích a technologicky náročných operací, při kterých dochází k velkým tlakům a vysokým teplotám. Jmenované vlastnosti se vyskytují převážně u protahování, výroby ozubení a výroby závitů.

Při obrábění s malými tlaky a nízkou teplotou nám postačí mazivo obsažené

v řezných emulzích. Mazací schopnost procesního média je závislá na pevnosti vytvořené mezní vrstvy a viskozitě. Při vysoké viskozitě vzniká nevyhovující pronikání média mezi plochy, jako jsou nástroj – obrobek, nebo nástroj – tříska. To jsou plochy, na kterých vzniká tření. Médium, které je viskóznější, ulpívá na vzniklých třískách, kterými odchází. Díky tomuto dochází k vyšší ztrátě média a tím i k vyšším nežádoucím nákladům.

## **2. Popis a sestava zařízení pro vrtání hlubokých děr**

Zařízení MQL slouží pro odsávání a filtrační systém při hloubkovém vrtání. Sestavu pro hluboké vrtání lze realizovat pouze za předpokladu bezpečného odstranění třísky z místa řezu, zajištění chlazení místa řezu nástroje i obrobku a mazání k zabránění vzniku tření mezi nástrojem o obrobenou plochu.

V laboratoři Katedry obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB-TUO využijeme veškeré dostupné nástroje a začínáme postupně skládat sestavu pro MQL. Samotná sestava se skládá se sedmi částí, které byly postupně sestaveny v celek na vrtání děr:

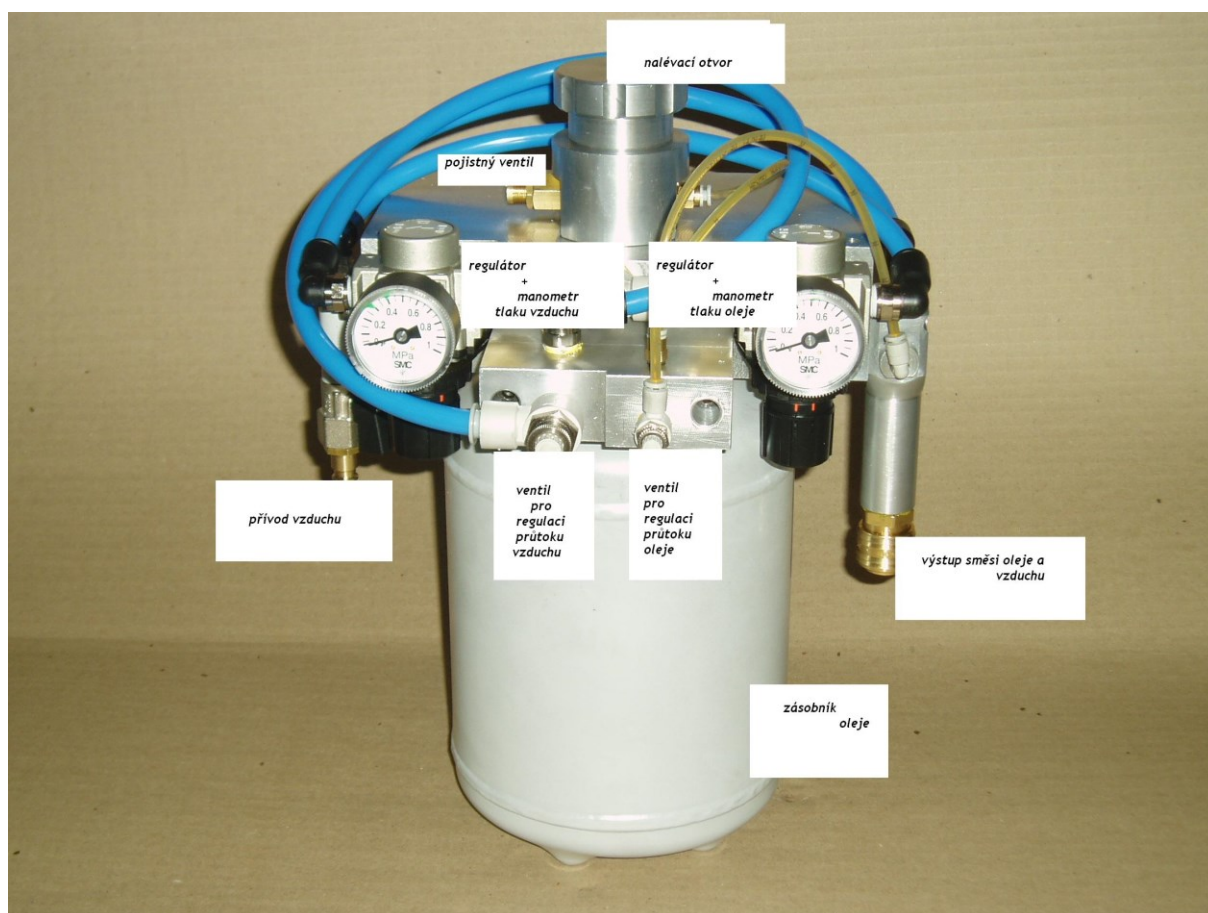
- přístroj určený k směšování vzduchu a oleje
- tlakové hadice
- středový adaptér
- dělový vrták
- sestava na odsávání přebytečné olejové mlhy
- filtrační jednotka

## 2.1. Popis samotného stroje

Přístroj byl vyvinut společností [12] a vyroben v České republice na základě specifických požadavků zákazníků. Přístroj slouží ke směšování vzduchu a oleje. Za využití vhodného příslušenství lze vytvořenou směsí chladit a mazat nástroje při operacích:

- frézování - vhodné zejména k dokončovacím operacím,
- vrtání - lze využít pro vrtáky s vnitřním chlazením některých výrobců
- hluboké vrtání - vhodné pro dělové vrtáky všech výrobců.

Konstrukce přístroje je založena na mechanickém principu a je zcela bezúdržbová. Při jeho funkci není třeba připojení do elektrické sítě, čímž je zvýšena bezpečnost práce a zjednodušena obsluha přístroje.



Obr. č. 1.7. Ovládání [12]

### **Uvedení jednotky do provozu:**

1 - Před uvedením do provozu je nejdříve nutné zkontrolovat množství oleje v zásobníku. Výrobce přístroje doporučuje oleje INDUOIL.

2 - Dále je potřeba uzavřít ventil přívodu vzduchu.

3 - Přívod vzduchu připojit na místní tlakový rozvod vzduchu o min. tlaku 6 bar a průtoku min. 400 l za minutu. Přiváděný vzduch musí být zbaven všech mechanických nečistot a vody.

4 - Připojíme příslušenství na výstup směsi oleje a vzduchu např. adaptér a dělový vrták (umožnit volný průchod vzduchu skrze přístroj)

5 - Otevřít ventil přívodu vzduchu.

Kontrola tlaku vzduchu na manometru tlaku oleje nesmí přesáhnout více než 8 bar.

Nikdy neodpojovat výstup směsi oleje a vzduchu (příslušenství) pokud není zavřený ventil přívodu vzduchu.

Při seřizování je potřeba postupovat opatrně a ponechat zařízení čas na ustálení poměru vzduchu a oleje. Tento čas je přímo úměrný tlaku vzduchu, stejně tak při nedostatku oleje ve vzduchu trvá určitou dobu, až se olej ke konci vrtáku dostane. To platí zejména při použití nových nástrojů.

## **2.2. Mlhové chlazení olejem INDUOIL HL95**

Mlhové chlazení je moderní ekologická, bezodpadová technologie určená k mazání, chlazení nástrojů při obrábění, která svými vlastnostmi nahradí a ve většině oblastí i předčí vlastnosti klasické chladicí kapaliny. Základním principem je tvorba olejového aerosolu, který se pomocí stlačeného vzduchu dopraví na požadované místo, nejčastěji místo řezu. Olejový aerosol se tvoří až v samotné koncové trysce a díky jejímu koaxiálnímu uspořádání nedochází k nežádoucímu rozprachu aerosolu v okolí aplikace.

Popsané řešení odstraňuje tepelné šoky, kterým je při chlazením kapalinou vystaven nástroj a výrazně tím prodlužuje životnost nástrojů ze slinutých karbidů (obrábění, frézování, soustružení) i rychlořezné oceli (ostřihování, prostřihování, řezání, tváření). Chladicí a mazací kapaliny jsou v jejich speciálním složení vždy vyladěny na dané požadavky. Moderní struktura systému našich vodou mísitelných, tak jako vodou ředitelných chladicích a mazacích kapalin, se zrcadlí při všech provozních podmínkách a vždy garantují optimální výkonnost s referencí.

## **2.3. Sestava pro odsávání přebytečné olejové mlhy**

Pro zlepšení pracovního prostředí v malých prostorách, nebo při používání několika dělových vrtání v jednom pracovním prostoru jsme odsávací zařízení s filtrací odsátého vzduchu. Výhodou použitého řešení je navrácení filtrovaného vzduchu do pracovního prostoru a takřka nulové náklady na filtrační kartuše, které se dají snadno čistit. Účinnost samotné filtrace je přibližně 75 %.

Odsávací zařízení lze pro rychlost instalace vybavit rychloupínači odsávacího trychtýře a rychlouzávěrem pro připevnění hadice k odsávací jednotce.



Obr. č.1.8. Sestava pro odsávání přebytečné olejové mlhy [12]



Obr. č. 1.9. Dýza na odsávání [13]

## 2.4. Středový adaptér

Do středového adaptéru přes boční část odsávacího příslušenství je přiváděna tlakovou hadicí z filtrační jednotky směs oleje a vzduchu. Díky tomuto speciálně vyrobeného adaptéru zajistíme dopravu kapaliny přes střed nástroje do místa řezu. Středový adaptér [13] slouží k uchycení nástroje k vrtání hlubokých otvorů.



Obr. č. 2.0. Středový adaptér [13]



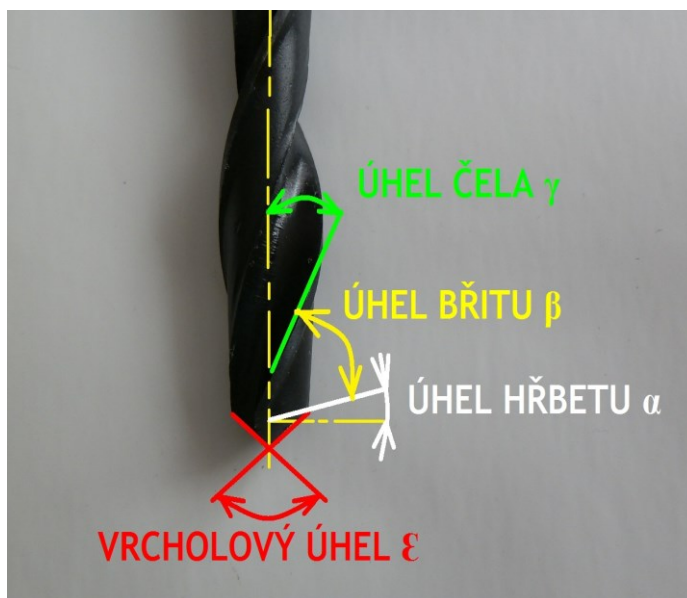
Obr. č. 2.1. Upínače pro vrtání [13]

### Geometrie šroubovitého s dělového vrtáků:

Vrtáky jsou nejčastěji nástroje dvoubřité, některé druhy i tříbřité či jednobřité. Jsou to rotační nástroje a slouží k odebírání materiálu v geometrickém válci, pro přípravu otvorů, dalším druhům dokončovacích operací při obrábění děr. Jejich ostří jsou určena úhlem sklonu šroubovice, vrcholovým úhlem a úhlem hřbetu [13].

Vhodně odkloněné roviny vytvářejí geometricky definovaný klín - hlavní břit nože.

V ortogonální rovině se zobrazují řezné úhly – hřbetu  $\alpha_0$ , břitu  $\beta_0$  a čela  $\gamma_0$ . Úhel hřbetu nemůže být nikdy záporný.



Obr. č. 2.2. Geometrie dělového vrtáku [13]



## **Povlakování:**

CVD (Chemical Vapour Deposition) – je to chemický proces povlakování založen na reakci plyných chemických sloučenin v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového slinutého karbidu a následném uložení produktu reakce na tomto povrchu. Požadavkem je, aby plyny obsahovaly stabilní, ale přitom prchavou sloučeninu, která se v důsledku ohřátí chemicky rozkládá. Produkty jejího rozkladu jsou pak ukládány na ohřátý povrch povlakovaného předmětu. Aby se vytvořila vrstva povlaku, musí být v plynech obsaženy nekovový reakční plyn.

Rozlišujeme čtyři vývojové generace povlakovaných SK:

1. jednovrstvý povlak (TiC) s tloušťkou kolem  $7\mu\text{m}$  a špatnou soudržností podkladu a povlaku
2. jednovrstvý povlak (TiC, TiN) s tloušťkou povlaku až  $13\mu\text{m}$  a dobrou soudržností povlaku a podkladu
3. vícevrstvý povlak (3 i více vrstev) s ohraničenými přechody mezi vrstvami. Jako první se nanáší vrstvy s dobrou přilnavostí k podkladu a nižší odolností k opotřebení a jako poslední se nanáší vrstvy s vysokou odolností k opotřebení
4. vysokou tvrdostí. Materiály  $\text{TiC-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiC-TiN}$
5. speciální vícevrstvý povlak (10 i více vrstev) s materiály stejnými jako u třetí generace, U těchto povlaků je cíleně řízená atmosféra.

Pro vyměnitelné destičky vyžadující ostrý břit nebo vysokou pevnost při pozitivní geometrii a monolitní nástroje se používají povlaky PVD. Postup povlakování je shodný jako u RO. Vytváří se dvoufázové povlaky o tloušťce 3 až  $5\mu\text{m}$ . Řezná rychlost se nám zvýší zhruba o 50 % a zvýší se nám i trvanlivost nástroje.

## **Výhody povlaků**

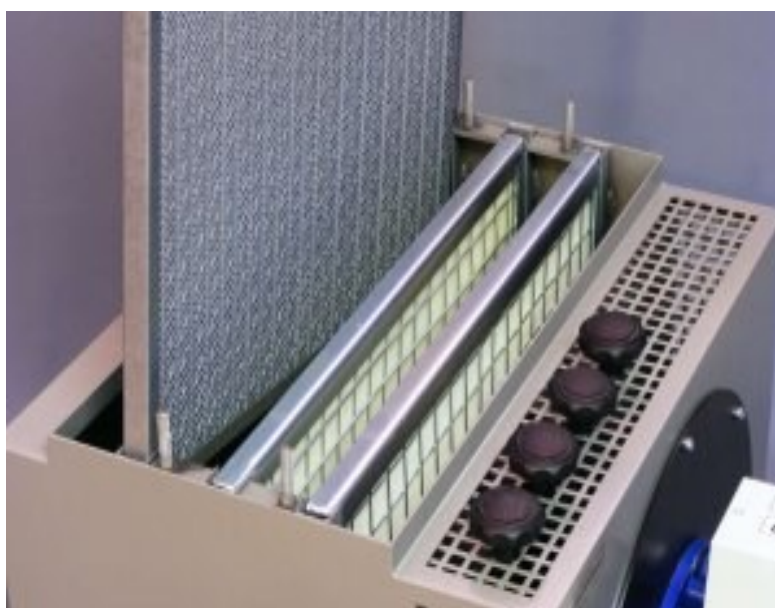
- Extrémně hladký povrch
- Vysoká tvrdost a zvýšená tvrdost za tepla
- Mimořádně silná přilnavost k substrátu
- Odolnost vůči oxidaci
- Nízký koeficient tření
- Minimální zbytková pnutí

## 2.5. Filtrační systém

Používá se pro zajištění bezpečné filtrace a separace oleje z odsávaného média uváděný trojnásobný filtrační ocelový filtr obr. č. 2.3. Díky tomuto systému není nutné řešit výstupy z odsávání MQL [12].



Obr. č. 2.3. Filtrační jednotka [12]



Obr.č. 2.4. Ocelový filtr [12]

## 2.7. Postup montáže sestavy MQL těsně před spuštěním do zkušebního provozu



Obr. č. 2.5. Kompletní sestava MQL těsně před spuštěním do zkušebního provozu [12]

### **3.0. Montáž a zkoušení sestavy MQL**

#### **Použitý stroj, kruhový soustruh CU500**

Pro experiment zkoušení byl využíván kruhový soustruh CU500, který je v laboratořích katedry obrábění a montáže. Tento soustruh na zkoušení celé sestavy MQL, hlavně na samotné vrtání daných součástí.

#### **3.1. Vybrané technické parametry stroje [9]:**

Rozsah otáček vřetena:	2 000 min <sup>-1</sup>
Výkon motoru pohonu vřetena:	7,5/11 kW
Oběžný průměr nad ložem:	500 mm
Oběžný průměr nad suportem:	300 mm
Vrtání vřetena:	62 mm
Max. průměr tyče:	60 mm
Průměr výsuvné pinole koníka:	70 mm

### 3.2. Zkoušený materiál

Vrtání probíhalo na soustruhu typu CU500 a zkoušené materiály byly dva.

První materiál je tyč kruhová, materiál typu S355J2G tabulka č.1.

Tabulka č.1

Firma	GUEHRING	
Typ	Pilot 05514-12	Spirálový vrták
Průměr nástroje [mm]	12	12
Řezná část nástroje	SK-monolit	SK-monolit
$v_c$ [m · min <sup>-1</sup> ]	60,28	97,968
$f_n$ [mm]	0,31	0,346
$v_f$ [mm · min <sup>-1</sup> ]	500	900
hloubka vrtání [mm]	30	300
procesní kapalina	Induoil	Induoil
čas vrtání [min]	0,06	0,33



Obr. č. 2.6. Vrtaný materiál šroubovým vrtákem [12]



Obr. č. 2.7. Dělové vrtáky [12]

Vrták byl upnut do upínače a začalo seřizování tlaku a množství chladicí kapaliny v místě řezu.



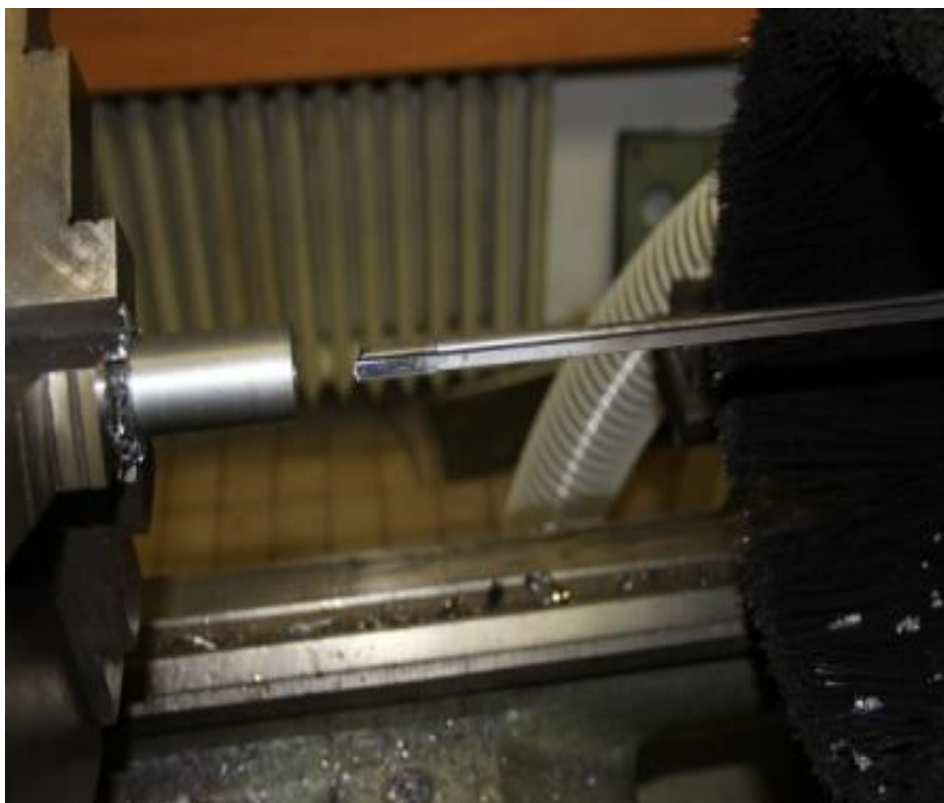
Obr. č. 2.8. Upínací hlava [12]





Obr. č. 2.9. Seřizování tlaku chladicí kapaliny [12]

Po veškerých provedených úkolu lze začít samotné vrtání.



Obr. č. 3.0. Samotné vrtání [12]

Po dokončení samotného vrtání se začalo v laboratoři měřit drsnost povrchu vrtaného otvoru. Měřených úseků bylo deset a výsledky drsnosti povrchu jsou v níže přiložené tabulce.



Obr. č. 3.1. Materiál po odfrezování [12]



### 3.3. Nástroje k vrtání hlubokých otvorů

Nástroje pro použití k hlubokému vrtání [13] na konvenčních i CNC strojích jsou dělové vrtáky. Pro samotné toto vrtání se používá několik typů velikosti těchto nástrojů. Na zvolených průměrech nástrojů bude možné dostatečně sledovat potřebnou změnu tlaku pro zajištění vrtání na požadovanou hloubku.



Obr. č. 3.2. Dělové vrtáky [13]

Typy použitých vrtáků:

Dělový vrták D08,00GL350 weldon D 25mm

Dělový vrták D10,00GL380 weldon D 25mm

Dělový vrták D12,00GL400 weldon D 25mm

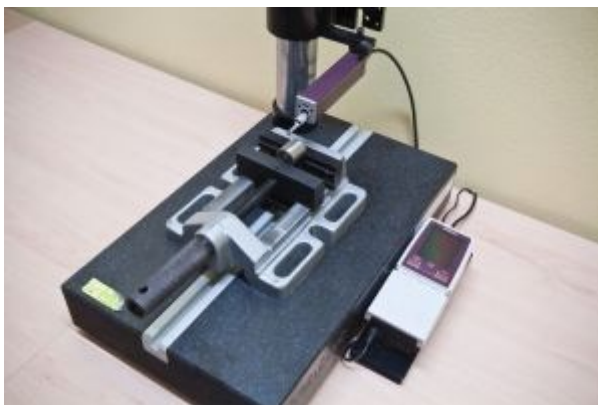
### 3.4. Princip měření drsnosti povrchů přístrojem SJ-401

Dotykový hrot snímající jednotky přístroje SJ-401 zaznamenává drobné nepravidelnosti povrchu měřeného vzorku. Drsnost povrchu se stanovuje na základě vertikálního posunu dotykového hrotu způsobeného přejížděním hrotu po povrchu. Parametry prvního měření byly následující, dle ISO 4287.

- Základní délka materiálu = 120 mm
- Vyhodnocována délka = 120 mm
- Rychlost snímání = 0,5 mm.s<sup>-1</sup>



Obr.č. 3.3. Drsnoměr Mitutoyo SJ-401 [14]



Obr. č. 3.4. Drsnoměr Mitutoyo SJ-401 [15]

Drsnost povrchu vzorku bude měřena 10krát po celé délce cca 20mm kolmo na povrch a to v podélném směru, tj. ve směru posuvu vrtání. Výsledek by neměl přesáhnout naměřenou hodnotu  $R_a 3,2 \text{ (}\mu\text{m)}$ . Naměřené hodnoty viz tabulka č. 2.

Tabulka č.2

měření	$R_a \text{ [}\mu\text{m]}$	$R_z \text{ [}\mu\text{m]}$
X1	1,718	11,904
X2	1,343	11,133
X3	0,738	5,651
X4	0,594	3,274
X5	0,422	3,272
X6	1,116	9,449
X7	0,578	5,252
X8	2,013	10,578
X9	1,223	7,665
X10	0,784	8,215
Průměr naměřených hodnot	1,052	7,639
Směrodatná odchylka $s(x)$	0,112	0,856

Zhodnocené výsledky měření bude v kapitole 4.

Druhý experimentální činnost bude prováděna na materiálu 20MnMoNi 55. Otvory budou 4 a vrtány šroubovým vrtákem 12 mm o délce 200 mm na sloupové vrtačce. Po odvrtání se odfrézovala horní část a začalo měření, 10krát po 20 mm a opět výsledkem je dosáhnou menší hodnoty 3,2 Ra ( $\mu\text{m}$ ). Hodnoty které byly využity při vrtání, viz tabulka č.3.

Tabulka č. 3

Firma	GUEHRING
typ.	Spirálový vrták
Průměr nástroje [mm]	12
Řezná část nástroje	SK-monolit
$v_c$ [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	97,968
$f_n$ [mm]	0,346
$v_f$ [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	950
Hloubka vrtání [mm]	200
Procesní kapalina	Induoil
Čas vrtání [min]	0,63

Vrtané díry 1 až 4 a naměřené hodnoty.

Tabulka č. 4

Díra č.1	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Díra č.2	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
X1	2,198	13,585	X1	2,397	13,785
X2	2,741	13,444	X2	2,744	13,644
X3	1,784	11,314	X3	1,484	12,314
X4	1,985	11,411	X4	1,945	10,411
X5	1,654	11,512	X5	1,854	11,912
X6	1,785	10,845	X6	1,985	10,844
X7	2,165	11,254	X7	2,195	12,254
X8	1,985	11,596	X8	1,988	11,496
X9	2,097	12,253	X9	2,098	12,453
X10	2,111	10,784	X10	2,125	10,456
Průměr naměřených hodnot X	2,050	11,785		2,250	11,989
Směrodatná odchylka $s(x)$	0,232	0,985		0,251	0,895

Tabulka č. 5

Díra č.3	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Díra č.4	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
X1	2,395	15,585	X1	1,757	12,785
X2	2,941	13,774	X2	2,764	13,655
X3	1,764	12,314	X3	1,887	11,314
X4	2,965	11,431	X4	2,945	10,211
X5	1,784	11,582	X5	1,254	11,915
X6	1,885	10,885	X6	1,558	12,224
X7	2,025	11,256	X7	2,878	12,224
X8	1,858	12,886	X8	1,548	11,434
X9	2,088	13,258	X9	1,298	12,225
X10	1,187	10,874	X10	2,188	12,456
Průměr naměřených hodnot X	1,878	11,382		2,007	11,711
Směrodatná odchylka s(x)	0,235	0,889		0,254	0,912

## 2.0. Závěrečné zhodnocení

Cílem bakalářské práce bylo seznámení s problematikou samotného vrtání hlubokých otvorů, popsání způsoby výroby vrtacích otvorů a různé technologie vrtání. Dále jsou popsány stroje a nástroje na vrtání hlubokých otvorů a jejich parametry. Další částí je popsána činnost chlazení v místě řezu a odvod chladicí kapaliny a samotné třísky.

Další část je montáž a uvedení do provozu sestavu MQL, pro odsávání přebytečné olejové mlhy z místa řezu. Montáž sestavy probíhala na konvenčním stroji CU500 na VŠB TUO v laboratořích katedry montáže a obrábění. Všechny díly sestavy jsou podrobně popsány a následně instalovaný na výše jmenovaný soustruh CU500. Sestava je dále postupně propojována, seřizovaná a postupně zapojována do provozu.

Experimentální činnost probíhala na dvou materiálech, první je kruhová tyč typu S355J2G, která byla vrtána dělovým vrtákem na konvenčním stroji CU500 a sestavy MQL. Druhý materiál je 20MnMoNi 55 a je vrtán na sloupové vrtačce šroubovým vrtákem.

Po samotném vyvrtání proběhlo odfrézování horní části materiálu a začalo porovnávání drsnosti vrtaného otvoru. Experimentální činnost, která se zabývala měření drsnosti na dvou různých materiálech a dvou různých technologiích vrtání hlubokých otvorů, výsledky jsou patrné a uvedené v tabulkách č. 2 a 4.

Na výsledcích měření je patrné, že montáž sestavy je správně nainstalována a je možno využívat na konvenčních strojích za použití kompletní sestavy MQL. Dále můžeme hodnotit samotné drsnosti povrchu.

Cílem bylo, aby naměřené hodnoty nepřesáhly danou střední hodnotu 3,2 Ra(μm). Výsledek je patrný a rozdíl v drsnosti u sestavy MQL s dělovým vrtákem je lepší, než vrtání šroubovým vrtákem na sloupové vrtačce.

## **Závěr**

V úvodu bakalářské práce byly popsány jednotlivé způsoby výroby otvorů s popisem technologií, používaných nástrojů a strojů. V další části je rozebrána problematika samotného vrtání hlubokých otvorů s uvedením stupňů přesností a parametrů drsností jednotlivých operací.

V další části bakalářské práci byla řešena montáž sestavy MQL pro odsávání přebytečné olejové mlhy z místa řezu v prostorech VŠB - TUO. Dále je popsána montáž sestavy pro odsávání přebytečné olejové mlhy z místa řezu. Jednotlivé díly sestavy jsou zdokumentované a popsány jejich parametry. Další část je věnovaná samotné vrtací jednotky a to jak dělovým, tak šroubovým vrtákům a jejich geometrie a samotné chlazení v místě řezu. Je popsán kruhový soustruh a jeho parametry.

Další částí je popsána experimentální část samotné drsnosti vrtaného otvoru za popsání technologických parametrů, které byly dodrženy při samotném vrtání. Byly naměřené hodnoty, které byly zpracovány a vyhodnocovány v excelových tabulkách.

Poslední částí bylo vyhodnocení samotného vrtání na konvenčním stroji, jak dělovým vrtákem tak i šroubovým vrtákem a na samotný závěr probíhalo měření drsnosti vrtaných materiálů.

## Použitá literatura

- [1] MÁDL, Jan, KAFKA Jindřich , VRABEC Martin, DVOŘÁK Rudolf.  
TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ: 3. DÍL. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. Technologie II 1. díl.  
Ostrava : VŠB TU Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978–80–248–1641–8.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. Technologie II 2. díl.  
Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978–80–248–1822–1.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABÁCEK, M.  
Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978–80–8070–711–8.
- [5] ČADA Radek, ADAMEC Jaromír, TICHÁ Šárka, OCHODEK Vladislav, HLAVATÝ Ivo, ŠIMČÍK Stanislav. Základy strojírenské technologie. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1997. 115 s. ISBN 80-7078-300-1.

## Elektronické zdroje

- [6] NOVÁK, Z. Výkonné řezné nástroje. MM průmyslové spektrum. 2012, č. 3.  
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vykonne-rezne-nastroje.html>.
- [7] VRTÁNÍ ZPLNA: DĚLOVÉ VRTÁKY. WINTER servis: Hluboké vrtání BOTEK  
[online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z:  
[http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/zplna\\_delove](http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/zplna_delove).
- [8] Deep hole drilling: Product catalogue and application guide. SANDVIK Coromant:  
METALWORKING PRODUCTS.
- [9] VRTÁNÍ ZPLNA: SYSTÉM BTA. WINTER servis: Hluboké vrtání BOTEK [online].  
[cit. 2013-03-05]. Dostupné z:  
[http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/zplna\\_bta](http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/zplna_bta). VRTÁNÍ ZPLNA:
- [10] EJEKTOROVÝ SYSTÉM. WINTER servis: Hluboké vrtání BOTEK [online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z:  
[http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/zplna\\_ejektor](http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/zplna_ejektor).



- [11] Deep hole drilling: Product catalogue and application guide. SANDVIK Coromant: METALWORKING PRODUCTS.
- [12] Foceno v laboratořích katedry obrábění a montáže VŠB Ostrava
- [13] <http://www.cemecon.cz/technologie/>
- [14] <http://www.exapro.cz/soustruh-zmm-cu500-x-2000-p30109059/#!prettyPhoto>
- [15] <http://www.cyklos.cz/zakazkova-vyroba/kategorie/cnc-obrabeni/typ/kontrola-mereni/produkt/drsnomer-mitutoyo-sj-410>

## **Poděkování**

**Tímto bych chtěl velmi děkovat Ing. et Ing. Mgr. Janě Petřů, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, poskytování rad, materiálových podkladů a za hodnotné připomínky k práci. Také chci poděkovat Ing. Antonínu Trefilovi za pomoc při experimentální části a cenných rad.**